

4

## MANUFACTURING METHOD FOR CONTINUOUS CASTING INGOT

Publication number: JP2003103351 (A)

**Publication date:** 2003-04-08

**Inventor(s):** AWAJIYA HIROSHI; IIZUKA YUKIMICHI; NAKADA MASAYUKI; TSUTSUMI KOICHI; SUZUKI MAKOTO

**Applicant(s):** NIPPON KOKAN KK

**Classification:**

**- international:** *G01B17/00; B22D11/16; B22D11/20; B22D11/22; G01B17/00; B22D11/16; B22D11/20; B22D11/22; (IPC1-7): B22D11/16; B22D11/20; B22D11/22; G01B17/00*

**- European:**

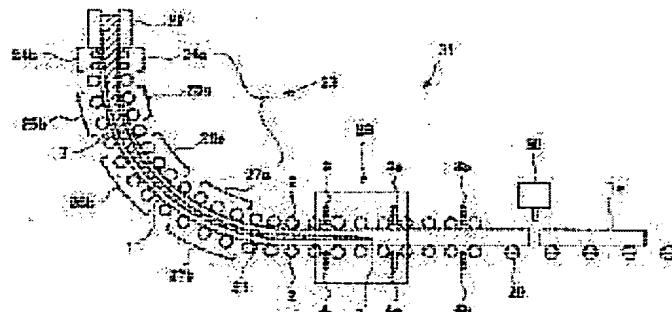
**Application number: JP20010294017 20010926**

**Priority number(s):** JP20010294017 20010926

**Abstract of JP 2003103351 (A)**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enhance productivity or ingot quality by detecting accurately the crater and position of a continuously casting ingot using solidified state determination devices improved in an S/N ratio.

**SOLUTION:** In the continuous casting method, the crater end position of the ingot is detected at a plurality of places in the direction of ingot casting using solidified state determination devices 3,4 by transmitting a transverse wave of an electromagnetic ultrasonic wave against the ingot 1, (1) the casting speed or the secondary cooling water volume is changed so that the crater end position obtained becomes a predetermined reference position, (2) corresponding to the crater end position detected the position of a light draft zone 28 capable of drafting against the ingot is changed to draft the ingot by the light draft zone, (3); on the basis of the changing amount on the casting direction of the detected crater end position, the cutting position of the ingot is changed.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-103351

(P2003-103351A)

(43) 公開日 平成15年4月8日 (2003.4.8)

(51) Int.Cl.  
 B 22 D 11/16  
 11/20  
 11/22  
 G 01 B 17/00

識別記号  
 104  
 11/20  
 11/22

F I  
 B 22 D 11/16  
 11/20  
 11/22  
 C 01 B 17/00

デーラード (参考)  
 B 2 F 06 8  
 104 S 4 E 00 4  
 A  
 B  
 B

審査請求 未請求 請求項の数 7 O.L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-294017(P2001-294017)

(22) 出願日 平成13年9月26日 (2001.9.26)

(71) 出願人 000004123  
 日本钢管株式会社  
 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号  
 (72) 発明者 淡路谷 浩  
 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日  
 本钢管株式会社内  
 (72) 発明者 飯塚 幸理  
 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日  
 本钢管株式会社内  
 (74) 代理人 100116230  
 弁理士 中濱 泰光

最終頁に続く

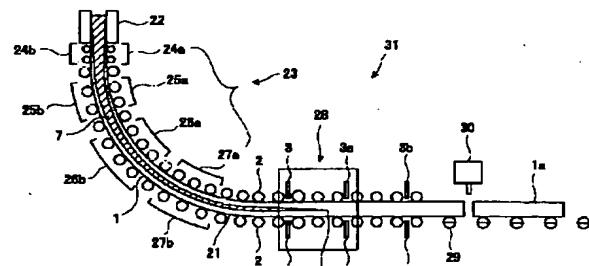
## (54) 【発明の名称】 連続鋳造鋳片の製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 S/N比の改善された凝固状態判定装置を利用して連続鋳造鋳片のクレータエンド位置を正確に検出し、生産性又は鋳片品質を高める。

【解決手段】 本発明による連続鋳造方法は、鋳片1に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固状態を判定する凝固状態判定装置3、4を用いて鋳片鋳造方向の複数箇所で鋳片のクレータエンド位置7aを検出して、(1)求めたクレータエンド位置が予め設定されている基準位置となるように鋳造速度又は二次冷却水量を変化させる。(2)検出したクレータエンド位置に対応して、鋳片に対して圧下が可能な軽圧下帯28の位置を変更し、この軽圧下帯により鋳片を圧下する。

(3)検出したクレータエンド位置の鋳造方向での変化量に基づき鋳片の切断位置を変更する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 連続鋳造鋳片の表層部が相変態するまで鋳片を冷却する冷却手段と、冷却手段にて冷却された鋳片に対し、鋳片と非接触状態にある横波用の送信用電磁超音波センサによって送信信号としての横波超音波を送信する送信手段と、送信信号が鋳片を透過した透過信号を、鋳片と非接触状態にある横波用の受信用電磁超音波センサによって受信する受信手段と、受信手段において受信した受信信号に基づき鋳片の凝固状態を判定する判定手段と、を有し、鋳片に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固状態を判定する凝固状態判定装置を用いて鋳片鋳造方向の複数箇所で鋳片のクレータエンド位置を検出し、求めたクレータエンド位置が予め設定されている基準位置となるように鋳造速度又は二次冷却水量を変化させながら鋳造することを特徴とする連続鋳造鋳片の製造方法。

【請求項2】 電磁超音波が連続鋳造鋳片を透過する伝播時間を超えない時間の最大数に対し、その50%から150%の範囲に設定されたパルス幅内で、周波数、振幅若しくは位相の何れか、又はこれらの任意の組み合せにより変調したバースト状の送信信号を、鋳片と非接触状態にある横波用の送信用電磁超音波センサによって送信する送信手段と、送信信号が鋳片を透過した透過信号を、鋳片と非接触状態にある横波用の受信用電磁超音波センサによって受信する受信手段と、受信手段において受信した受信信号に対し、送信信号と同一又は類似の波形の参照信号を用いて相関演算を行い、鋳片の凝固状態を判定する判定手段と、を有し、鋳片に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固状態を判定する凝固状態判定装置を用いて鋳片鋳造方向の複数箇所で鋳片のクレータエンド位置を検出し、求めたクレータエンド位置が予め設定されている基準位置となるように鋳造速度又は二次冷却水量を変化させながら鋳造することを特徴とする連続鋳造鋳片の製造方法。

【請求項3】 連続鋳造鋳片に対し、鋳片と非接触状態にある横波用の送信用電磁超音波センサによって送信信号としての横波超音波をパルス単位で繰り返し送信する送信手段と、送信信号が鋳片を透過した透過信号を、鋳片と非接触状態にある横波用の受信用電磁超音波センサによって受信する受信手段と、受信手段で受信された受信信号における各パルスを加算平均すると共に、その加算平均回数を16回以上、且つ、信号伝播時間の変化がパルス加算による信号強度の相殺低下を生じさせない程度の時間幅に相当するパルス回数以下として信号処理し、この信号処理結果に基づいて鋳片の凝固状態を判定する判定手段と、を有し、鋳片に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固状態を判定する凝固状態判定装置を用いて鋳片鋳造方向の複数箇所で鋳片のクレータエンド位置を検出し、求めたクレータエンド位置が予め設定されている基準位置となるように鋳造速度

又は二次冷却水量を変化させながら鋳造することを特徴とする連続鋳造鋳片の製造方法。

【請求項4】 前記クレータエンドの基準位置を、鋳片に対して軽圧下が可能な軽圧下帯の範囲内に設定することを特徴とする請求項1ないし請求項3の何れか1つに記載の連続鋳造鋳片の製造方法。

【請求項5】 送信信号としての横波超音波を送信する送信用電磁超音波センサと、送信信号が鋳片を透過した透過信号を受信する受信用電磁超音波センサと、を有し、鋳片に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固状態を判定する凝固状態判定装置を用いて鋳片鋳造方向の複数箇所で鋳片のクレータエンド位置を検出し、検出したクレータエンド位置に対応して、鋳片に対して圧下が可能な軽圧下帯の位置を変更し、この軽圧下帯により鋳片を圧下しつつ鋳造することを特徴とする連続鋳造鋳片の製造方法。

【請求項6】 送信信号としての横波超音波を送信する送信用電磁超音波センサと、送信信号が鋳片を透過した透過信号を受信する受信用電磁超音波センサと、を有し、鋳片に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固状態を判定する凝固状態判定装置を用いて鋳片鋳造方向の複数箇所で鋳片のクレータエンド位置を検出し、検出したクレータエンド位置の鋳造方向での変化量に基づき鋳片の切断位置を変更することを特徴とする連続鋳造鋳片の製造方法。

【請求項7】 前記送信用電磁超音波センサ及び受信用電磁超音波センサは、鋳片幅方向に移動して、鋳片幅方向全体でクレータエンド位置を検出できることを特徴とする請求項1ないし請求項6の何れか1つに記載の連続鋳造鋳片の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、鋼の連続鋳造鋳片の製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 鋼の連続鋳造においては、連続鋳造鋳片の完全凝固位置（「クレータエンド位置」と云う）が鋳片のどの位置にあるかを判定することが極めて重要である。クレータエンド位置を検出することが、鋳片の生産性や品質の向上に大きく貢献するためである。

【0003】 例えば、生産性を向上させるために鋳造速度を増やすと、クレータエンド位置は鋳片の鋳造方向下流側に移動する。クレータエンド位置が鋳片支持ロールの範囲を超えると鋳片が静鉄圧により膨らみ（「バルジング」と云う）、内質の悪化や巨大バルジングの場合には鋳造停止と云った問題が発生する。それ故、クレータエンド位置が明確に分からぬ場合には、鋳造速度を無闇に増速できない。又、鋳片の中心偏析を低減して高品質化を図るための軽圧下操業では、クレータエンドを軽圧下帯に位置させるように鋳造速度や二次

(3) 003-103351 (P2003-103351A)

冷却水量を制御する必要がある。これらの要求に応えるためには、鋳片の凝固状態を連続的に計測する必要がある。

【0004】従って、鋳片内部の凝固状態を判定するために、今までに種々の方法が提案されており、そのなかでも、超音波の横波の透過強度を利用した方法が多数提案されている。横波は固相のみ透過して液相が存在すると透過しないと云う性質があり、横波を鋳片の厚み方向に送信し、鋳片を透過した信号が検出されれば完全に凝固していると判断でき、信号が得られなければ未凝固層が残存していると判断できるからである。

【0005】例えば、特開昭62-148850号公報では、縦波と横波を同時に発生できる電磁超音波センサを用い、横波の透過強度で凝固状態を判定している。未凝固層があっても透過する縦波の信号を併用することにより、リフトオフ（鋳片とセンサとのギャップ）変動やセンサ異常も同時にチェックできるようにしている。又、特開平10-197502号公報では、鋳片における横波の共鳴周波数を測定し、この共鳴周波数から鋳片の中心固相率（鋳片軸心部の固液共存相における固相の比率）を求めていている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記2つの公報に提案された装置を始めとして従来の凝固状態判定装置では感度が低い上にS/N（信号対雑音比）が低く、そのため、測定精度が悪いのみならず、非接触計測を行うほどには電磁超音波センサのリフトオフを大きくすることができず、長時間の連続計測が不可能であると云う問題点があった。

【0007】又、鋳造中にクレータエンド位置は鋳造条件の変化に伴って鋳造方向で変動する。クレータエンド位置が鋳造方向で大幅に変動した場合には、クレータエンド位置よりも鋳造方向上流側の方が先に凝固が完了して、その下流側への残溶鋼の供給が途絶え、鋳片中心部にボロシティや層状の空隙を生ずる場合がある。連続鋳造機出側に設置されたガス切断機において、この部位で切断して鋳片を製造すると、次工程の加熱中に鋳片中心部の空隙が空気により酸化され、熱間圧延でも圧着せず、欠陥となって製品歩留まりを低下させる。従来、この点に関しては何ら対策が採られておらず、鋳片は指示長さ通りで切断されていた。

【0008】更に、クレータエンド位置が鋳造方向で大幅に変動した場合には、鋳造速度や二次冷却水量を調整しても、クレータエンド位置が軽圧下帯から外れ、鋳片を所定の圧下量で圧下できないと云う問題点があった。

【0009】本発明は上記事情に鑑みなされたもので、その第1の目的とするところは、S/N比の改善された凝固状態判定装置を利用することにより、正確に連続鋳造鋳片のクレータエンド位置を検出し、クレータエンド位置を予め設定された基準位置に制御しながら鋳造し

て、生産性又は鋳片品質を高めることを可能とする連続鋳造鋳片の製造方法を提供することであり、第2の目的とするところは、クレータエンド位置が鋳造方向で変動しても的確に軽圧下を行い、鋳片品質を高めることを可能とする連続鋳造鋳片の製造方法を提供することであり、第3の目的とするところは、クレータエンド位置の変動により鋳片中心部にボロシティや層状の空隙が生じても、これらボロシティ及び層状空隙が製品における欠陥とならず、製品歩留まりを高めることを可能とする連続鋳造鋳片の製造方法を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者等は上記課題を解決するために鋭意検討を行った。以下に検討結果を説明する。先ず最初に、凝固状態判定装置のS/N改善の検討結果を説明する。

【0011】本発明者等は、横波電磁超音波を連続鋳造に適用した場合の感度について種々の実験と考察を重ねた結果、以下の各S/N改善方法を適宜組み合わせること、場合によっては単独のままで、完全非接触で計測できるセンサのリフトオフを実現できることを見出した。

【0012】第1のS/N改善方法は、被測定材即ち鋳片の表層部を冷却によって相変態させ、この冷却した部位に近接して横波用の送信用電磁超音波センサと受信用電磁超音波センサを配置するものである（以下「表層冷却によるS/N改善」とも云う）。

【0013】この方法の特徴は、冷却によって被測定材を相変態させていることと、横波用電磁超音波センサを用いている点にある。冷却過程においては、冷却速度が速く且つ冷却時間が短い場合、被測定材をキュリー点以下に低下させたとしても、過冷却のため結晶はしばらくγ相のままであり、磁性はすぐには回復しない。そこで本発明においては確実に磁性が回復するように相変態するまで冷却する。このようにすると、横波電磁超音波を磁性体に適用することとなるが、超音波の発生メカニズムとしてローレンツ力でなく磁歪の効果が支配的になると云う新たな効果を得ることができる。

【0014】図1でこれを説明する。図1は、横波電磁超音波の発生メカニズムを示す図であり、図1に示すように、キュリー点より高い温度では、横波電磁超音波はローレンツ力のみで発生している。ここで冷却すると、過冷却のためキュリー点より若干低い温度で磁性が回復する。これにつれて、ローレンツ力の効果は大きくなっていくが、ここで磁歪の効果も出てくるようになる、磁歪の効果はローレンツ力よりも更に大きくなるため、磁歪による電磁超音波は、ローレンツ力による電磁超音波より高い感度が得られる。従って、被測定材の表層部を冷却によって相変態させ、この冷却した部位に近接して横波用の送信用電磁超音波センサと受信用電磁超音波センサを配置すれば、大幅な感度向上を得ることができる。

(4) 003-103351 (P2003-103351A)

【0015】ここで、冷却によって相変態させる必要のある被測定材の表層部としては、その幅が電磁超音波センサのコイル幅以上、長さが電磁超音波センサのコイル長さ以上、深さが用いる超音波の周波数における浸透深さ程度、例えば周波数が1MHzであれば0.1~0.2mm程度以上であることが望ましい。尚、相変態させる必要のある表層部は、全て $\alpha$ 相となることが望ましいが、表層部における $\gamma$ 相から $\alpha$ 相への相変態の仕方は冷却条件や表層部の組成状態等により複雑に変化するため、部分的に $\gamma$ 相が残っている状態であっても或る程度以上 $\alpha$ 相に変態していれば本発明の効果は得られる。

【0016】第2のS/N改善方法は、送信信号のバースト波パルス幅がその伝播時間を超えない範囲で最大のパルス幅となるようにするものである（以下「バースト波によるS/N改善」とも云う）。具体的には、鉄片厚み、鉄片温度、音速とから定まる最大数の近傍に設定した所定パルス幅内で、周波数、振幅若しくは位相の何れか、又はこれらの任意の組み合せにより変調したバースト状の送信信号を送信用電磁超音波センサに印加して鉄片内に横波超音波を送信する。これを受信用電磁超音波センサにより受信し、その受信信号に対し、送信信号と同一又は類似の波形の参考信号を用いて相関演算を行うようとする。

【0017】ここでは、変調した送信信号を用い、受信信号の相関演算を行うようしているが、これによる効果を最大限に得るために、送信信号のパルス幅を鉄片厚み、鉄片温度、音速とから定まる最大数の近傍に設定する。

【0018】鉄片を透過した信号は、図2に示されるように、送信信号から伝播時間だけ遅れた位置に現れる。図2は、送信信号と伝播時間の関係を示す図である。伝播時間 $d$ は、鉄片厚み $d$ 、鉄片温度 $T(x)$ 、音速 $C(T)$ とから、下記の（1）式により推定できる。尚、ここで $T_a$ は鉄片の平均温度である。

【0019】

【数1】

$$d = \int_0^d \frac{1}{C(T(x))} dx \approx \frac{d}{C(T_a)} \quad \dots (1)$$

【0020】鉄片の温度分布は、大まかには伝熱計算で容易に求まるため、予め鉄片の厚み、操業条件に応じて平均温度を求めておけば伝播時間が求められる。従って、この伝播時間を超えない範囲で最大のパルス幅を設定することで、最大のS/N改善が得られる。

【0021】第3のS/N改善方法は、平均回数を16回以上且つ平均後の透過信号が小さくならない範囲に設定した平均回数で、相関後の信号又は受信信号を送信信号に同期して加算平均するものである（以下「加算平均によるS/N改善」とも云う）。ここでは、同期加算平均を行うようしているが、鉄片温度は操業状態によっ

て様々に変化するため、図3に示すように透過信号の現れる位置は刻一刻変化することになる。この結果、伝播時間の変化率が大きい時、平均処理後に透過信号が小さくなってしまい、凝固状態の判定精度が低くなる。図3は、伝播時間の変化と平均処理の関係を示す図であり、図3は平均回数が2回の場合を示しているが、平均回数が更に多いと、より伝播時間の変化割合は増えてしまうため、より透過信号が小さくなる。これを避けるため、平均後の透過信号が小さくならない範囲に設定する。ここで、S/N比を最大にする平均回数は次のように定められる。

【0022】透過信号を周波数 $f$ の正弦波とし、透過信号の単位時間あたりの伝播時間変化率を $\tau$ （= $(t_2-t_1)/T$ ）、パルス繰り返し周波数をPRF（= $1/T_{prf}$ ）、平均回数をNとすると、加算平均後の透過信号の振幅 $X_s$ は下記の（2）式で表される。

【0023】

【数2】

$$x_s = \left| \sum_{i=0}^{N-1} \sin(2\pi f t + i \cdot \tau / PRF) \right| \quad \dots (2)$$

【0024】又、ノイズの振幅 $X_n$ は下記の（3）式で表される。

【0025】

【数3】

$$x_n = 1/\sqrt{N} \quad \dots (3)$$

【0026】よって、平均後のS/N比改善量 $\alpha$ として下記の（4）式が得られる。

【0027】

【数4】

$$\alpha = 20 \log(x_s/x_n) \quad \dots (4)$$

【0028】そこで、これらの式に基づいて最大の平均回数を求めれば良い。従って、これを超えない範囲で平均回数を設定することで、最大のS/N改善を得るようになる。

【0029】以上、個々のS/N改善方法について説明したが、1番目の「表層冷却によるS/N改善」は電磁超音波の発生原理を利用したもの、2番目の「バースト波によるS/N改善」は送信信号とノイズとの相関を利用したもの、3番目の「加算平均によるS/N改善」はノイズの時間ランダム性を利用したものであり、これらのS/N改善効果は全て異なる原理で得ている。従って、S/N改善量は加算されていくこととなり大きなS/N改善量が得られることになる。

【0030】これらのS/N改善方法や送信信号の高出力化方法を適宜組み合わせていくと、ある段階で電磁超音波センサにタッチホールを付けて鉄片に接触させるようなことをしなくても構わないほど、リフトオフを広く

(5) 003-103351 (P 2003-103351A)

取ることができるようになる。従来技術では、リフトオフはせいぜい2mmであり、本発明者等が知る限り、現実に、完全非接触で且つ連続的に連続铸造錫片の凝固状態を判定できるシステムは存在しない。しかし、上記したS/N改善方法同士、あるいはS/N改善方法と送信信号の高出力化方法を組み合わせることで、従来は不可能であった完全非接触且つ連続的な連続铸造錫片の凝固状態判定を現実に可能なものとすることができる。

【0031】このようにしてクレータエンド位置を的確に且つ安定して検出することが可能になると、錫片に対して圧下が可能な軽圧下帯の位置を、検出したクレータエンド位置に応じて変更し、この軽圧下帯を用いて錫片を圧下することにより、铸造の初期や末期の等の非定常部を含めて錫片の大部分を軽圧下することができる。

【0032】次に、錫片中心部のボロシティや層状の空隙と製品欠陥との関係について説明する。

【0033】溶鋼は凝固時に体積収縮するが、この最終凝固部への残溶鋼の供給が途絶えることにより、錫片中心部にボロシティや層状の空隙が生成する。取鍋交換時等の非定常铸造時や何らかのトラブル等による铸造速度の変更若しくは二次冷却水量の変更により、铸造方向各部位の冷却強度が均一にならず、クレータエンド位置よりも上流側部位の凝固速度が早くなる場合が発生する。この場合には、クレータエンド位置よりも铸造方向上流側の方が先に凝固が完了して、その下流側への残溶鋼の供給が途絶え、錫片中心部にボロシティや層状の空隙が生ずる。そして、この部位がたまたまガス切断位置に対応する場合には、錫片切断面に空隙が現出して、製品における欠陥となり歩留まりを低下させる。

【0034】上記のような残溶鋼の供給が途絶える場合には、クレータエンド位置が上流側に急激に移動する。従って、クレータエンド位置の铸造方向の変化量を監視して、クレータエンド位置が急激に変動する部位を外して錫片を切断すれば、前述したボロシティや層状の空隙は錫片切断面に現出せず、次工程の熱間圧延で圧着し、歩留まりを低下させることができとの知見が得られた。

【0035】本発明は上記検討結果に基づきなされたもので、第1の発明による連続铸造錫片の製造方法は、連続铸造錫片の表層部が相変態するまで錫片を冷却する冷却手段と、冷却手段にて冷却された錫片に対し、錫片と非接触状態にある横波用の送信用電磁超音波センサによって送信信号としての横波超音波を送信する送信手段と、送信信号が錫片を透過した透過信号を、錫片と非接触状態にある横波用の受信用電磁超音波センサによって受信する受信手段と、受信手段において受信した受信信号に基づき錫片の凝固状態を判定する判定手段と、を有し、錫片に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固状態を判定する凝固状態判定装置を用いて錫片铸造方向の複数箇所で錫片のクレータエンド位置を検出し、求めたクレータエンド位置が予め設定されている基準位置となるように铸造速度又は二次冷却水量を変化させながら铸造することを特徴とするものである。

【0036】第2の発明による連続铸造錫片の製造方法は、電磁超音波が連続铸造錫片を透過する伝播時間を超えない時間の最大数に対し、その50%から150%の範囲に設定されたパルス幅内で、周波数、振幅若しくは位相の何れか、又はこれらの任意の組み合せにより変調したバースト状の送信信号を、錫片と非接触状態にある横波用の送信用電磁超音波センサによって送信する送信手段と、送信信号が錫片を透過した透過信号を、錫片と非接触状態にある横波用の受信用電磁超音波センサによって受信する受信手段と、受信手段において受信した受信信号に対し、送信信号と同一又は類似の波形の参照信号を用いて相関演算を行い、錫片の凝固状態を判定する判定手段と、を有し、錫片に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固状態を判定する凝固状態判定装置を用いて錫片铸造方向の複数箇所で錫片のクレータエンド位置を検出し、求めたクレータエンド位置が予め設定されている基準位置となるように铸造速度又は二次冷却水量を変化させながら铸造することを特徴とするものである。

【0037】第3の発明による連続铸造錫片の製造方法は、連続铸造錫片に対し、錫片と非接触状態にある横波用の送信用電磁超音波センサによって送信信号としての横波超音波をパルス単位で繰り返し送信する送信手段と、送信信号が錫片を透過した透過信号を、錫片と非接触状態にある横波用の受信用電磁超音波センサによって受信する受信手段と、受信手段で受信された受信信号における各パルスを加算平均すると共に、その加算平均回数を16回以上、且つ、信号伝播時間の変化がパルス加算による信号強度の相殺低下を生じさせない程度の時間幅に相当するパルス回数以下として信号処理し、この信号処理結果に基づいて錫片の凝固状態を判定する判定手段と、を有し、錫片に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固状態を判定する凝固状態判定装置を用いて錫片铸造方向の複数箇所で錫片のクレータエンド位置を検出し、求めたクレータエンド位置が予め設定されている基準位置となるように铸造速度又は二次冷却水量を変化させながら铸造することを特徴とするものである。

【0038】第4の発明による連続铸造錫片の製造方法は、第1の発明ないし第3の発明の何れかにおいて、前記クレータエンドの基準位置を、錫片に対して軽圧下が可能な軽圧下帯の範囲内に設定することを特徴とするものである。

【0039】第5の発明による連続铸造錫片の製造方法は、送信信号としての横波超音波を送信する送信用電磁超音波センサと、送信信号が錫片を透過した透過信号を受信する受信用電磁超音波センサと、を有し、錫片に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固

(6) 003-103351 (P2003-103351A)

状態を判定する凝固状態判定装置を用いて鋳片鋳造方向の複数箇所で鋳片のクレータエンド位置を検出し、検出したクレータエンド位置に対応して、鋳片に対して圧下が可能な軽圧下帯の位置を変更し、この軽圧下帯により鋳片を圧下しつつ鋳造することを特徴とするものである。

【0040】第6の発明による連続鋳造鋳片の製造方法は、送信信号としての横波超音波を送信する送信用電磁超音波センサと、送信信号が鋳片を透過した透過信号を受信する受信用電磁超音波センサと、を有し、鋳片に対して電磁超音波の横波を透過させることによりその凝固状態を判定する凝固状態判定装置を用いて鋳片鋳造方向の複数箇所で鋳片のクレータエンド位置を検出し、検出したクレータエンド位置の鋳造方向での変化量に基づき鋳片の切断位置を変更することを特徴とするものである。

【0041】第7の発明による連続鋳造鋳片の製造方法は、第1の発明ないし第6の発明の何れかにおいて、前記送信用電磁超音波センサ及び受信用電磁超音波センサは、鋳片幅方向に移動して、鋳片幅方向全体でクレータエンド位置を検出できることを特徴とするものである。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図4及び図5は本発明の実施の形態を示す図であって、図4は本発明を実施したスラブ連続鋳造機の概略図、図5は本発明で用いた凝固状態判定装置の1例を示す構成図である。

【0043】図4に示すように、連続鋳造機31には、溶鋼を注入して凝固させるための鋳型22が設置されており、この鋳型22の下方には、対向する一対のロールを1組として複数組の鋳片支持ロール2が設置されている。そして、鋳片支持ロール2の下流側には、複数本の搬送ロール29と、搬送ロール29の上方に位置して鋳片1の鋳造速度と同調するガス切断機30とが設置されている。又、鋳片支持ロール2には、鋳型22の直下から下流側に向かって、第1冷却ゾーン24a、24b、第2冷却ゾーン25a、25b、第3冷却ゾーン26a、26b、及び、第4冷却ゾーン27a、27bの合計8つに分割された冷却ゾーンからなる二次冷却帯23が設置されている。

【0044】二次冷却帯23の各冷却ゾーンには、エアーミストスプレー用又は水スプレー用の複数個のスプレーノズル(図示せず)が設置されており、スプレーノズルから鋳片1の表面に二次冷却水が噴霧される。尚、各冷却ゾーンにおいて、連続鋳造機31の反基準面側(上面側)の冷却ゾーンをaで表示し、基準面側(下面側)の冷却ゾーンをbで表示している。又、冷却ゾーンの設置数は図4では合計8であるが、連続鋳造機31の長さ等に応じて幾つに分割しても良い。

【0045】鋳片支持ロール2のうちの一部は、対向す

るロール間の間隔(「ロール間隔」と云う)が鋳片1の鋳造方向下流側に向かって徐々に狭くなるように設定され、鋳片1に対して圧下力を付与することの可能な支持ロール2の群、即ち、軽圧下帯28が設置されている。凝固末期の鋳片1を圧下することにより、凝固収縮に基づく濃化溶鋼の流動を抑えて、中心偏析を改善することができる。

【0046】鋳片支持ロール2のロール間隔は、油圧や電動機による遠隔操作により鋳造中であっても変更可能であり、従って、図4では連続鋳造機31の水平部に軽圧下帯28が設置されているが、鋳片支持ロール2の設置されている範囲であればどこであっても、例えば湾曲部であっても軽圧下帯28とすることができる。即ち、軽圧下帯28は、鋳片1のクレータエンド7aに応じて鋳造方向上流側又は下流側へ移動させることができるようになっている。

【0047】この複数対の鋳片支持ロール2からなる軽圧下帯28におけるロール間隔の勾配は、鋳片1の圧下速度が0.6~1.5mm/minの範囲になる程度に設定すれば良い。圧下速度が0.6mm/min未満では、偏析を軽減する効果が少なく、一方、圧下速度が1.5mm/minを越えると、濃化溶鋼が鋳造方向とは逆方向に絞り出され、鋳片中心部には負偏析が生成される虞があるからである。又、総圧下量は2~6mmで十分である。

【0048】二次冷却帯23の下流側の鋳片支持ロール2の間隙には、鋳片1のクレータエンド7aの位置を検出する凝固状態判定装置の一部を構成する送信用横波電磁超音波センサ3(3a, 3b)、及び受信用横波電磁超音波センサ4(4a, 4b)が鋳造方向に3箇所設置されている。図4では、送信用横波電磁超音波センサ3及び受信用横波電磁超音波センサ4が3箇所に設置されているが、設置数は3に限る訳ではなく、2以上であれば幾つでも良い。

【0049】次に、図5に基づき本発明で用いた凝固状態判定装置を説明する。図5において、内部に未凝固層7を有する鋳片1を鋳片支持ロール2が挟みこみ、鋳片1は図中右側へ引き抜かれている。未凝固層7の先端がクレータエンド7aである。そして、対向配置させた送信用横波電磁超音波センサ3及び受信用横波電磁超音波センサ4の上流側には、隣り合う鋳片支持ロール2の間隙に水冷用ノズル5が設置されており、水冷用ノズル5は鋳片1の表層部に対して水を放出して冷却し、その所定領域6を $\alpha$ 相から $\beta$ 相へ変態させている。水冷用ノズル5を二次冷却用スプレーノズルが兼ねることができる。

【0050】凝固状態判定装置は、鋳片1を $\alpha$ 相変態した位置で挟んで対向配置させた送信用横波電磁超音波センサ3及び受信用横波電磁超音波センサ4からなるセンサ部と、送信用横波電磁超音波センサ3に送信信号を出

(7) 003-103351 (P2003-103351A)

力する送信出力系8, 9(14, 15), 16と、受信用横波電磁超音波センサ4にて受信した受信信号を処理する受信処理系10, 11, 12, 13, 17とからなっている。送信用横波電磁超音波センサ3及び受信用横波電磁超音波センサ4は、鋳片1の幅方向に移動可能な取り付け架台(図示せず)に取り付けられており、同調して移動することにより鋳片1の幅全体で検出できる構成となっている。鋳片幅方向に移動可能であるので、クレータエンド7aの鋳片幅方向の状況も把握することができる。

【0051】送信用横波電磁超音波センサ3は、送信信号を横波の電磁超音波として発信し、鋳片1を透過した電磁超音波の透過信号を受信用横波電磁超音波センサ4が受信する。この受信信号を処理することによりクレータエンドの位置検出が行われる。尚、図5においては、電磁超音波センサ3, 4の位置では鋳片1の内部が完全に凝固しており、クレータエンド7aはセンサ部の上流側にある。

【0052】又、送信出力系は、送信信号のトリガー信号発生部8と、送信信号発生部9と、バースト波のパルス幅を設定するパルス幅設定部16とから構成される。送信信号発生部9は、更にトリガー信号に基づいて設定されたパルス幅のバースト波を発生するバースト波発生部14と、発生したバースト波を増幅して送信信号としてセンサ3に出力する電力増幅部15とからなっている。

【0053】一方、受信処理系は、受信信号の増幅部10、同期加算平均部12、平均回数設定部13、相関処理部17、及び、受信信号から透過信号を抽出して凝固状態を判定する評価部11とから構成されている。

【0054】次に、以上のように構成された凝固状態判定装置の動作について説明する。

【0055】トリガー信号発生部8から送信のタイミング信号が出ると、バースト波発生部14は、周波数、振幅若しくは位相の何れか又はこれらの任意の組み合せにより変調したバースト状の送信信号を発生する。ここで、パルス幅はパルス幅設定部16にて指定された値とする。送信信号は電力増幅部15で増幅され、送信用横波電磁超音波センサ3に印加される。

【0056】図6は電磁超音波センサ3, 4の構造例を示す図である。同図に示すように、送信用横波電磁超音波センサ3はコイル19を備えており、鋳片1の表層部で $\alpha$ 相に変態している所定領域6に、送信信号による高周波の振動磁場Bvを鋳片1の表面に平行な方向に加える。この結果、鋳片1の表面に平行な応力が磁歪によってかかるため、せん断波即ち横波が発生することになる。尚、ここで送信用横波電磁超音波センサ3は垂直方向に磁極を持つ磁石20も備えているが、これは静磁場Bsにより磁歪の効果を増すために用いられる。この磁石は永久磁石でも電磁石でも良い。

【0057】このようにして、発生した横波超音波は鋳片1を透過し、送信とは反対側の表面に到達する。こちら側には、図6と同様に受信用横波電磁超音波センサ4が対向しており、鋳片1の表層部で $\alpha$ 相に変態している所定領域6に、磁石20により静磁場Bsがかけられている。ここに横波が到達すると、磁歪の逆効果として、この部分の透磁率が変化する。この結果、受信用横波電磁超音波センサ4のコイルを横切る磁束Bsが高周波で振動的に変化するため、電磁誘導によってセンサコイル19に電圧が発生し、受信信号が得られる。

【0058】この受信信号は増幅部10で増幅された後、同期加算平均部12に入力され、平均回数設定部13により設定された回数だけ平均化される。同期加算平均部12は種々の方法で実施可能だが、ここでは、A/D変換を行って数値化し、トリガー発生部8の信号に同期して計算機によって平均化するようにした。演算式として下記の(5)式等を適用することができる。但し(5)式において、 $x_i(j)$ は入力信号、 $y_i(j)$ は出力信号、Nは平均回数、iはパルス繰り返し、nは一探傷信号のデータ点数であり、 $-\infty \leq i \leq \infty$ 、 $0 \leq j \leq n-1$ である。

【0059】

【数5】

$$y_i(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_{i+k}(j) \quad \dots (5)$$

【0060】平均された受信信号は、相関処理部17に入力される。ここでは、既に数値化されているので、更に計算を行うことが相関処理部17の役割となる。相関処理は下記の(6)式で実施することができる。但し(6)式において、 $x_i(j)$ は入力信号、 $y_i(j)$ は出力信号、 $C(j)$ は参照信号、 $N_c$ は参照信号の点数、iはパルス繰り返し、nは一探傷信号のデータ点数であり、 $-\infty \leq i \leq \infty$ 、 $0 \leq j \leq n-1$ である。尚、直接(6)式を計算しないで、入力信号をFFTしたものと参照信号をFFTしたものの共役とを乗算し、その結果を逆FFTして出力を得るのが最も高速に処理できるため有用である。

【0061】

【数6】

$$y_i(j) = \sum_{k=0}^{N_c-1} C(k) x_i(j+k) \quad \dots (6)$$

【0062】バースト波発生部14は、周波数、振幅若しくは位相の何れか、又はこれらの任意の組み合せにより変調したバースト状の送信信号を発生するが、変調方式はどの方式でも良い。変調方式の一例として、周波数変調であるチャーブ波の例を下記の(7)式で示す。但し(7)式において、 $f_c$ はチャーブ波の中心周波数、 $Bw$ はチャーブ波の周波数掃引幅、 $Tw$ はチャーブ波の

(8) 003-103351 (P2003-103351A)

パルス幅であり、 $0 \leq t \leq T_w$ である。

【0063】

【数7】

$$s(t) = \sin \left[ 2\pi \left( f_c - \frac{B_w}{2} + \frac{B_w}{2T_w} t \right) \cdot t \right] \quad \dots (7)$$

【0064】チャーブ波は自己相関関数が鋭い性質を持つ波形である。鋳片1を透過してきた受信信号の波形は、送信信号と相似であるから、相関処理部17を通過した受信信号は、送信信号のパルス幅より短くなるパルス圧縮効果が得られ、パルス幅の短い鋭い波形となる。これは、評価部11で凝固状態の判定を行う際に以下の点で有用である。一つ目は、透過信号の強度を求める際、透過信号の時間帯だけにゲートをかけて、その中の最大値を求めれば良いが、パルス幅の短い鋭い波形だとゲートの幅を狭くできるので、余分なノイズを拾わなくなる。二つ目は、透過信号の伝播時間を求める際、短いパルスだと時間の精度が高くなり、より精度良い鋳片1の凝固状態判定ができるようになる。

【0065】以上のようにして、相関処理の出力を得て、評価部11で凝固状態の判定を行う。これも計算で実施できるので、同期加算平均部12、相関処理部17、評価部11は一つあるいは複数の計算機で実施できる。

【0066】尚、本実施の形態においては、「表層冷却によるS/N改善」、「バースト波によるS/N改善」及び「加算平均によるS/N改善」の全てを組み合わせた場合について説明したが、これら全てを組み合さなくともセンサの非接触化を実現できる場合がある。具体的には、完全に非接触で計測可能なりフトオフ改善量としては従来技術(1~2mm)より望ましくは+7mm以上あれば良いが、+4mm以上でも可能である。そこで、センサのリフトオフ特性がおよそ-4dB/mmであることを考慮すると、従来に比べて16dB以上のS/N改善があればセンサ～鋳片間を非接触とすることが可能である。従って、従来に比べて16dB以上のS/N改善が期待できるように、「表層冷却によるS/N改善」、「バースト波によるS/N改善」及び「加算平均によるS/N改善」を適宜組み合わせることが可能である。

【0067】このようにして連続鋳造機31が構成されている。このような構成の連続鋳造機31において、本発明による連続鋳造鋳片の製造方法を以下のようにして実施する。

【0068】浸漬ノズル(図示せず)を介して鋳型22内に溶鋼を鋳造する。鋳型22内に鋳造された溶鋼は鋳型22内で冷却されて凝固殻21を形成し、内部に未凝固層7を有する鋳片1として、鋳片支持ロール2に支持されつつ下方に連続的に引き抜かれる。鋳片1は鋳片支持ロール2を通過する間、二次冷却帯23で冷却され、

凝固殻21の厚みを増大して、やがて中心部までの凝固を完了する。その際に、凝固状態判定装置によりクレータエンド7aの位置を検出する。

【0069】鋳片1の中心偏析を低減するために鋳片1に対して軽圧下を施す場合には、以下の2通りの方法で対処することができる。

【0070】1つの方法は、軽圧下帯28の設置位置を固定しておき、クレータエンド7aを軽圧下帯28内に制御する方法である。図4に示す位置に軽圧下帯28が設置されていることを前提として、この場合について説明する。この場合には、クレータエンド7a位置を軽圧下帯28内に制御する必要があり、従って、クレータエンド7aの基準位置を軽圧下帯28内に設定して、送信用横波電磁超音波センサ3, 3a及び受信用横波電磁超音波センサ4, 4aを用いてクレータエンド7a位置を制御する。

【0071】具体的には、受信用横波電磁超音波センサ4で送信用横波電磁超音波センサ3による送信信号が検出されたなら、鋳造速度を上昇させる若しくは二次冷却水量を減少させ、クレータエンド位置を鋳造方向下流側に延ばし、一方、受信用横波電磁超音波センサ4aで送信用横波電磁超音波センサ3aによる送信信号が検出されたなら、鋳造速度を低下させる若しくは二次冷却水量を増加させ、クレータエンド7a位置を鋳造方向上流側に向かわせる。このように制御して、受信用横波電磁超音波センサ4では送信用横波電磁超音波センサ3による送信信号が検出されず、受信用横波電磁超音波センサ4aでは送信用横波電磁超音波センサ3aによる送信信号が検出されるよう、鋳造速度若しくは二次冷却水量を調整する。このようにすることで、クレータエンド7a位置が軽圧下帯28内に制御され、中心偏析の少ない鋳片1を得ることができる。

【0072】軽圧下を施す他の方法は、検出されたクレータエンド7a位置に応じて軽圧下帯28を鋳造方向で移動させ、クレータエンド7aを軽圧下帯28内に制御する方法である。この場合には、送信用横波電磁超音波センサ3, 3a, 3b及び受信用横波電磁超音波センサ4, 4a, 4bによりクレータエンド7a位置を検出し、検出したクレータエンド7a位置が軽圧下帯28内に存在するように、上述した遠隔操作により軽圧下帯28の設定位置を変更する。この場合、鋳造速度及び二次冷却水量を調整しても良い。このようにすることで、非定常域を含め大部分の鋳片1のクレータエンド7a位置を軽圧下帯28内に制御することが可能となり、鋳造開始から鋳造終了まで一貫して中心偏析の少ない鋳片1を得ることができる。

【0073】又、連続鋳造機31の生産性を最大限発揮させる場合には、クレータエンド7a位置を連続鋳造機31の出側に位置させる必要があり、従って、クレータエンド位置7aの基準位置を、例えば送信用横波電磁超

(9) 003-103351 (P 2003-103351A)

音波センサ3aとセンサ3bとの間に設定し、受信用横波電磁超音波センサ4aで送信用横波電磁超音波センサ3aによる送信信号が検出されたなら、鋳造速度を上昇させる若しくは二次冷却水量を減少させ、クレータエンド位置を鋳造方向下流側に延ばし、一方、受信用横波電磁超音波センサ4bで送信用横波電磁超音波センサ3bによる送信信号が検出されたなら、鋳造速度を低下させる若しくは二次冷却水量を増加させ、クレータエンド7a位置を鋳造方向上流側に向かわせる。このように制御して、受信用横波電磁超音波センサ4aでは送信用横波電磁超音波センサ3aによる送信信号が検出されず、受信用横波電磁超音波センサ4bでは送信用横波電磁超音波センサ3bによる送信信号が検出されるように、鋳造速度若しくは二次冷却水量を調整する。このようにすることで、クレータエンド7a位置が連続鋳造機31の出側に制御され、連続鋳造機31の生産性を高めることができる。

【0074】このようにして、送信用横波電磁超音波センサ3, 3a, 3b及び受信用横波電磁超音波センサ4, 4a, 4bを用いてクレータエンド7a位置を連続的に検出している際に、クレータエンド7a位置が鋳造方向で大幅に変化した場合には、その部位をプロセスコンピュータ(図示せず)に記憶させ、ガス切断機30による切断位置と当該部位とを対比させ、当該部位が切断位置に該当する場合には、この部位を外して鋳造中の鋳片1をガス切断機30により切断して鋳片1aを得る。このようにすることで、鋳片1の中心部に生成されるボロシティや層状の空隙が鋳片1の切断面に現出せず、次工程の熱間圧延で圧着し、ボロシティや層状の空隙による歩留まり低下を未然に防止することができる。この場合、クレータエンド7a位置の鋳造方向の変動量が0.5m/min以上となったなら、切断位置を変更した方が良い。

【0075】尚、クレータエンド7aが電磁超音波センサ3(3a, 3b)の設置位置を通過する直前の伝播時間(以後、 $\Delta t_c$ とする)を記憶するようにすると、次のような制御方法も可能となる。即ち、電磁超音波センサ3(3a, 3b)の設置位置にクレータエンド7aが近づいてくると、鋳片温度が高くなってくるので、伝播時間が長くなる。そこで、伝播時間を連続的に計測し、この伝播時間が $\Delta t_c$ に近づいてきたら、クレータエンド7aが電磁超音波センサ3(3a, 3b)の設置位置に近づいてきたことを予測することができ、一方、伝播時間が $\Delta t_c$ から短い側に遠ざかっていったら、クレータエンド7aが電磁超音波センサ3(3a, 3b)の設置位置から遠ざかったことを予測することができ、従って、これに応じて鋳造速度若しくは二次冷却水量を調整することができる。このようにすると、より一層クレータエンド7aの位置を所定の位置に保つことが可能となる。

【0076】

【実施例】図4及び図5に示すスラブ連続鋳造機を用い、軽圧下帯を固定し、中心偏析低減のために軽圧下帯内にクレータエンド位置を制御すべく、厚みが250mm、幅が1600mmのA1キルド炭素鋼鋳片を鋳造した。この場合、鋳造開始時の鋳造速度は、伝熱計算によりクレータエンド位置を算出し、算出したクレータエンド位置が軽圧下帯内となる鋳造速度とした。又、凝固状態判定装置の各部の設定値は以下のようにした。

【0077】1. 表層冷却によるS/N改善：鋳片の表層部を相変態させる条件は次のようにした。ここでは、センサ手前の鋳片の表面温度は900°Cで、水冷用ノズルの水量は-20°C/sの冷速が得られる量とした。被測定材の連続冷却変態線図(CCT)は図7のようであったため、冷却速度が-20°C/sの時の変態開始温度(曲線a)は約620°Cとなる。図1で説明した磁歪の効果を得るために、変態開始よりも温度を下げて変態終了温度(曲線b)に近づければ良いので、表層部が620°C以下となるようにした。この場合、下げれば下げるほど効果は大きくなるため、表面割れ等が発生しないように、品質上の制約から温度を決めれば良い。ここでは、表層の温度を600°Cまで冷やすとすると、300°C低下されれば良い。従って、 $\alpha$ 相への冷却ゾーン長を $300^{\circ}\text{C} / 20^{\circ}\text{C}/\text{s} \times 40\text{mm}/\text{s} = 600\text{mm}$ とした。

【0078】以上の条件で、実際に透過信号のS/Nを測定すると、冷却しないでローレンツ力で電磁超音波を発生させた場合に比較して、冷却して相変態させ磁歪で電磁超音波を発生させた場合は10dBのS/N改善効果があった。尚、電磁超音波の周波数を考慮し、振動磁場の浸透深さ程度までが相変態開始するように冷却するより感度を高くすることができる。

【0079】2. バースト波によるS/N改善：送信信号は次のようにした。透過信号は、送信後、図2に示すように伝播時間分だけ遅れた位置に現れる。従って、送信信号の漏れ込みが透過信号に重ならないように、この伝播時間より送信信号のパレス幅を短くすれば良い。ここで伝播時間は、鋳片厚み、鋳片温度、音速とから決定される。音速は鋳片温度(T)と鋼種に依存し、横波で炭素鋼の場合、概略 $3000 - 0.65T$ (m/s)である。即ち鋳片温度(T)が低いほど音速は速くなり、伝播時間は短くなる。

【0080】従って、適用しようとする測定位置において、鋳片の温度が最も低くなる場合が最も伝播時間が短くなる場合であるから、この時の伝播時間が最大数である。そこで、送信信号のパレス幅はこの値の近傍に設定すれば良いことになる。本発明は鋳片の凝固状態を判定するために使うので、鋳片の温度が最も低くなる場合は、軸心の温度で1100°C程度、平均温度で1000°C程度と考えれば良い。

【0081】パレス幅の許容範囲は以下のように決めら

(単0) 03-103351 (P 2003-103351A)

れる。S/Nはパルス幅の1/2乗にほぼ比例するため、パルス幅を1/2位に短くすると6dB近く低下して効果が少なくなってしまう。一方、長すぎると透過信号に重なってしまうようになるが、波形の両端は、センサや増幅器の特性により多少振幅が小さくなるため、パルス幅は上記最大値の1.5倍位まで許容できる。このため、S/N向上効果の出るパルス幅の範囲としては最大数の50%以上、150%以下が望ましく、最適な範囲としては80%以上、120%以下が望ましい。

【0082】表1に、厚みが200mm、250mm、300mmの鋳片について定めた送信信号の最適なパルス幅を示す。ここでは最低の温度を平均温度で1000°Cとし、その時の音速は2350m/sとした。

【0083】

【表1】

鋳片厚み	200mm	250mm	300mm
最小伝播時間	85μs	106μs	128μs
パルス幅範囲	68~102μs	85~128μs	102~153μs

【0084】尚、送信信号の漏洩信号が大きい場合、漏洩信号により受信アンプが飽和し、いわゆる追い込み現象によりしばらくの時間不感帯になる場合がある。従って、追い込みがある場合は、上表の値からこの追い込み時間を引いた値にパルス幅を設定すれば良い。

【0085】表1のうちで、鋳片厚み250mm、パルス幅100μs、周波数100kHzの場合について、実際に透過信号のS/Nを測定すると、100kHzの1波のsin波に比較して、12dBのS/N改善効果があった。従って、上記のパルス幅の範囲に設定することで最低6dBのS/N改善効果が得られた。

【0086】3. 加算平均によるS/N改善：同期加算平均の平均回数は次のようにした。鋳造中の温度変化による伝播時間の変化率が大きい場合ほど、図3に示すように、平均化によって透過信号が小さくなってしまう可能性がある。そこで、伝播時間の変化率について様々な実験を繰り返した結果、同変化率がかなり大きくなる場合においては0.03μs/s~0.3μs/s程度であった。そこで、この値をパラメータとし、超音波の周波数100kHz、パルス繰り返し周波数100Hzの場合について、(2)式に基づいて平均回数と透過信号の振幅の関係を求めるところになった。

【0087】同図によれば、単位時間あたりの伝播時間の変化率 $\tau$ が最も早い0.3μs/sの時に平均回数256回程度までなら、振幅の低下はほとんどないことから、この場合は、平均回数の最大数は256と定められる。この時のS/N改善効果は(4)式のように平均回数の1/2乗に比例するので24dBが得られた。尚、上記最大数の算出に当たっては、透過信号強度の低下が1dB前後であれば振幅の低下がほとんどないことを基準にしている。即ち「伝播時間の変化率 $\tau$ が0.3μs

/sの時に平均回数の最大数256回」と云う値は、透過信号強度の低下1dBの場合である。伝播時間の変化率 $\tau$ が他の値となる場合にも、同様な基準により平均回数の最大数が算出される。

【0088】又、平均回数が少ないとS/N向上効果は少なくなるので、効果の出る範囲としては16回以上が望ましい。この場合、+12dBの効果がある。反対に平均回数が多すぎると図3のように振幅が小さくなるため、上記最大数の2倍程度以内が望ましい。最適な範囲としては上記最大数の50%以上、200%以下が適当である。尚、(2)式から明らかなように、超音波の周波数やパルス繰り返し周波数を変更する場合は、 $\tau$ を比例させて変化させた点で図8を読むことで、図8から平均回数と透過信号の振幅の関係を求めることができる。

【0089】以上に説明した3種類の効果は前述したように全て独立のため、これらを全て組み合わせることにより、 $10+6+12=28$ dBのS/N改善効果が得られた。電磁超音波センサのリフトオフ感度特性は-4dB/mm程度であるため、 $28/4=+7$ mmリフトオフを広くすることができたようになつた。

【0090】このように設定した凝固状態判定装置を用いてクレータエンド位置を検出し、受信用横波電磁超音波センサ4で送信用横波電磁超音波センサ3による送信信号が検出されたなら、鋳造速度を上昇させる若しくは二次冷却水量を減少させ、一方、受信用横波電磁超音波センサ4aで送信用横波電磁超音波センサ3aによる送信信号が検出されたなら、鋳造速度を低下させる若しくは二次冷却水量を増加させた。

【0091】又、凝固状態判定装置によるクレータエンド位置の鋳造方向の変動量が0.5m/m以上となつた部位はプロセスコンピュータにトラッキングし、この部位がガス切断機による切断位置に該当した場合には、この部位から少なくとも1m以上離れた部位で鋳片を切断した。

【0092】その結果、鋳片の中心偏析は大幅に改善され高品質の鋳片を製造することができ、且つ、ポロシティや層状の空隙が鋳片の切断面に現出せず、ポロシティや層状の空隙による歩留まり低下を防止することができた。

【0093】

【発明の効果】本発明によれば、連続鋳造鋳片を製造する際に、鋳片の鋳造方向で変動するクレータエンド位置を常に所定の位置に制御しながら鋳造することができ、鋳片の中心偏析の低減、並びに、鋳造速度上限値までの増速による生産性の向上等が可能となり、一方、クレータエンド位置が鋳造方向で大幅に変動した場合には、その部位を外して鋳片を切断するので、鋳片中心部に生成されるポロシティや層状の空隙による歩留まり低下を防止することができ、工業上有益な効果がもたらされる。

【図面の簡単な説明】

(1) 03-103351 (P2003-103351A)

【図1】横波電磁超音波の発生メカニズムを示す図である。

【図2】送信信号と伝播時間の関係を示す図である。

【図3】伝播時間の変化と平均処理の関係を示す図である。

【図4】本発明の実施の形態を示す図で、本発明を実施したスラブ連続鋳造機の概略図である。

【図5】本発明の実施の形態を示す図で、本発明で用いた凝固状態判定装置の1例を示す構成図である。

【図6】本発明の実施の形態を示す図で、本発明で用いた電磁超音波センサの構造例を示す図である。

【図7】被測定材料の連続冷却変態線図である。

【図8】平均回数と透過信号の振幅との関係を示す図である。

【符号の説明】

- 1 鋸片
- 2 鋸片支持ロール
- 3 送信用横波電磁超音波センサ
- 4 受信用横波電磁超音波センサ

5 水冷用ノズル

6 所定領域

7 未凝固層

8 トリガー信号発生部

9 送信信号発生部

10 増幅部

11 評価部

12 同期加算平均部

13 平均回数設定部

14 バースト波発生部

15 電力増幅部

16 パルス幅設定部

17 相関処理部

19 コイル

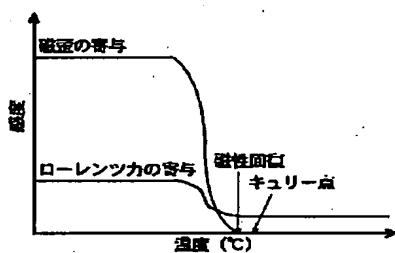
20 磁石

23 二次冷却帯

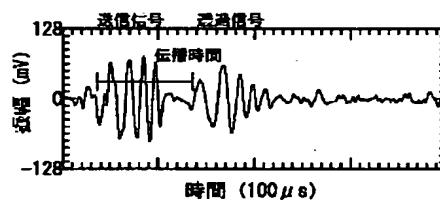
28 軽圧下帯

31 連続鋳造機

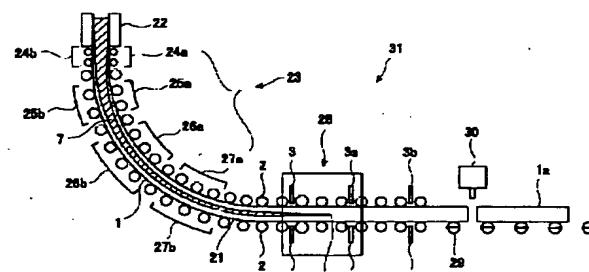
【図1】



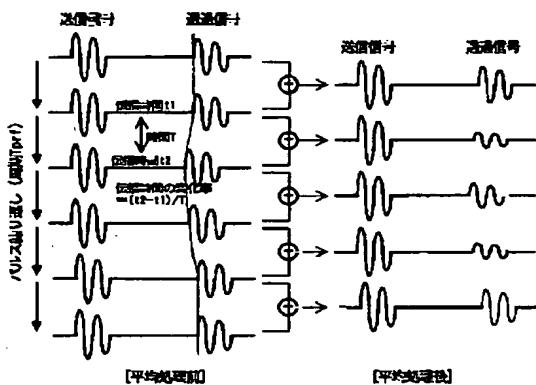
【図2】



【図4】

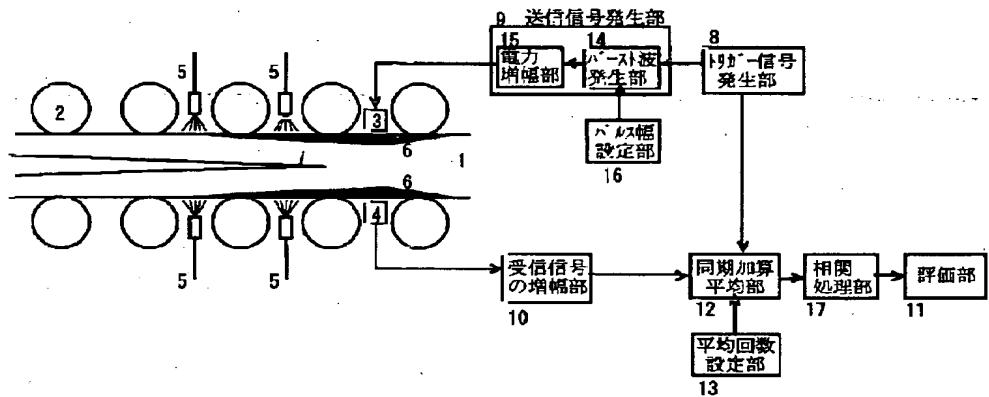


【図3】

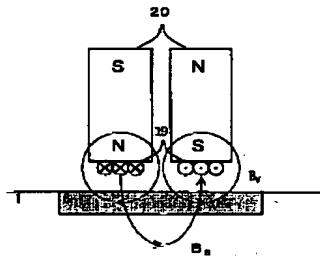


(卓2) 03-103351 (P2003-103351A)

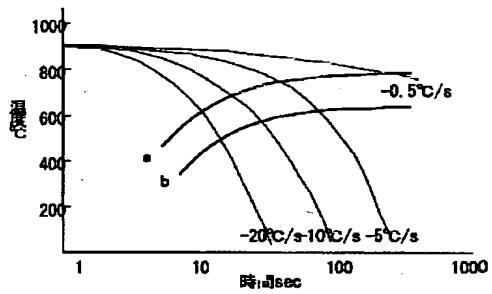
【図5】



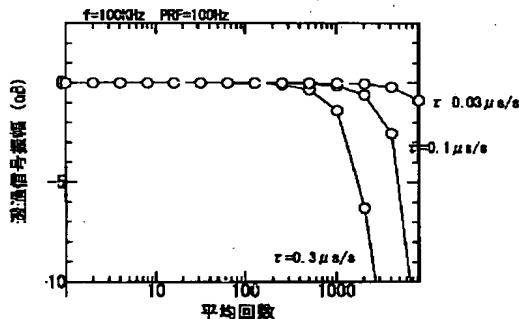
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 中田 正之

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日  
本鋼管株式会社内

(72)発明者 堤 康一

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日  
本鋼管株式会社内

(72)発明者 鈴木 真

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日  
本鋼管株式会社内

Fターム(参考) 2F068 AA04 AA13 BB23 CC00 DD03

FF04 FF12 FF25 GG04 HH02

JJ12\_QQ25

4E004 MC05 MC18 NC01 TB07 TB09